白酒糟酿酒酵母培养物营养成分分析及其在猪饲料中的应用价值评估

陈 颀[1,2,3] 包显颖[1,4] 苏 云[5] 李 斌[6] 曹立红[6] 贾杏林[2*] 冯泽猛[1,7*] 李铁军[1,7] 印遇龙[1,4,5]

（1.中国科学院亚热带农业生态研究所畜禽健康养殖研究中心，中国科学院亚热带农业生态过程重点实验室，畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室，湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心，农业部中南动物营养与饲料科学观测实验站，长沙 410125；2.湖南农业大学动物医学院，长沙 410128；3.湖南九鼎科技（集团）有限公司技术中心，长沙 410003；4.湖南农业大学动物科技学院，长沙 410128；5.湖南师范大学生命学院动物营养与人体健康实验室，长沙 410081；6.安徽东方新新生物技术有限公司，亳州 236800；7.湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128）

摘 要：为评估白酒糟酿酒酵母培养物在猪饲料中的应用价值，本试验在测定白酒糟酿酒酵母培养物中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、粗纤维、氨基酸含量等营养成分的基础上，采用全收粪法测定猪对白酒糟酿酒酵母培养物中营养物质的全消化道表观消化率，并通过安装T型瘘管测定猪对白酒糟酿酒酵母培养物中氨基酸的回肠末端表观消化率。结果表明：白酒糟酿酒酵母培养物的水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、粗纤维含量分别为8.34%、31.12%、5.00%、13.46%和11.00%，总能为19.53 MJ/kg，霉菌毒素含量远低于国家标准。猪对白酒糟酿酒酵母培养物中干物质、总能、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维和粗灰分的全消化道表观消化率分别为48.79%、38.33%、54.15%、82.94%、23.17%和20.29%，消化能为11.75 MJ/kg；猪对白酒糟酿酒酵母培养物中必需氨基酸和非必需氨基酸的回肠末端表观消化率的平均值分别为72.38%和69.37%，其中赖氨酸、甲硫氨酸的回肠末端表观消化率均超过80%。由此得出，白酒糟酿酒酵母培养物中氨基酸的吸收和利用率较高，可应用于猪饲料生产。

关键词：氨基酸；白酒糟；酿酒酵母培养物；营养价值评估；猪

收稿日期：2016-12-31
基金项目：国家 973 课题（2013CB127301）；农业部“948”计划（2015Z74）；企业横向课题“瑞优斯（酿酒酵母培养物）在妊娠期母猪饲料中应用评价研究”（Y640032100）
作者简介：陈 颀（1992-），男，湖南湘潭人，硕士研究生，研究方向为临床兽医学研究。E-mail: chenqi8536@qq.com
*通信作者：贾杏林，副教授，硕士生导师，E-mail: 1376161391@qq.com；冯泽猛，助理研究员，E-mail: zemengfeng2006@163.com

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

由于我国养殖业的飞速发展，饲料原料的消耗量巨大。2015年我国生猪出栏量为7.08亿头，共消耗饲料8 350万 t。依据我国现有的耕地面积以及生产能力，短期内对饲料原料的供给并不能满足现有饲料行业的需求，饲料行业出现了“与人争粮”的现象。虽然目前饲料原料中的小麦和水稻产量相对比较充裕，但是饲料市场最常用的玉米-豆粕型配方所需要的大豆和玉米则严重短缺。即便大豆、玉米等主要原料依靠进口才能缓解目前的饲料用粮缺口，但在全球谷物生产同质化趋势下[1]，如何保证我国的饲料用粮成了亟待解决的国家战略问题。为应对这种风险，积极地扩充饲料原料种类，把食品加工、中草药生产、发酵生产等各行业的中间或最终副产物等非常规饲料原料囊括到常用饲料原料目录中势在必行。充分利用这些非常规原料是缓解现在饲料原料困局的有效途径。

白酒糟大多数是以高粱、玉米等谷物为原料经过蒸馏酿酒后的残渣[2]，其残留着原材料中绝大多数的蛋白质、脂肪、钙、磷等营养成分，还含有丰富的发酵产物。2015 年我国白酒产量达到 1 257.13 万 t，按固态法生产 1 t 白酒约产生 10 t 白酒糟计算，我国白酒糟年产量超过 1 亿 t[3]。白酒糟除含有丰富的蛋白质和脂肪等常规营养物质外，还含有大量菌体自溶产生的各种嘌呤、嘧啶和类脂化合物等。另外，白酒糟中也含有大量的维生素、酶类和各种有机酸，可作为一种新型饲料原料应用于畜禽生产[4-5]。新鲜的白酒糟难以长时间的贮存和运输[6-7]，但是其经过发酵和加工工艺处理后可使水分、粗纤维含量降低，提升其他营养素的相对含量，改善氨基酸的组成，而且还有较高活性的纤维素酶[8-10]，使白酒糟的再利用价值得到提升。利用酵母发酵白酒糟既可充分利用白酒糟，减少它对环境的污染，又可提高其营养价值，使之成为新型的蛋白质饲料，创造出更大的经济价值。近年来，白酒糟酿酒酵母培养物作为一种新的饲料原料，受制于其在猪饲料营养价值方面数据的缺乏，其在养猪业上的应用还不普及。因此，本试验旨在通过评定白酒糟酿酒酵母培养物的营养价值，评估其在猪饲料中的应用价值，为其在养猪生产和饲料工业上的合理应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

1.1.1　试验材料

白酒糟酿酒酵母培养物由安徽东方新新生物技术有限公司提供，加工工艺如下：以安徽

古井集团的白酒糟为原料，先经过选育的酿酒酵母（*Saccharomyces cerevisiae*，2.3×10^{8} CFU/g）固体发酵来提高 pH 以达到枯草芽孢杆菌生长的条件，再经枯草芽孢杆菌（2.8×10^{9} CFU/g）固体发酵形成酵母培养物，发酵结束后经低温烘干及分离稻壳得到含有丰富营养物质的功能性饲料——白酒糟酿酒酵母培养物。12 头二元杂交去势公猪[体重为（20.0±2.0）kg]购自湖南新五丰股份有限公司永安分公司。

1.1.2　试验仪器

多功能酶标仪（Infinit M200 PRO，TECAN，瑞士）、紫外可见分光光度计(UV-2450，岛津，日本)、马弗炉（C450，北京市永光明医疗仪器有限公司）、全自动索氏抽提仪（SOX416，Gerhardt，德国）、全自动纤维分析仪（FT12，Gerhardt，德国）、等温式全自动量热仪（5E-AC8018，长沙凯德测控仪器有限公司）、氨基酸自动分析仪（L-8800，日立，日本）。

1.2　白酒糟酿酒酵母培养物常规营养成分的检测

干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、粗灰分含量的测定分别依照中华人民共和国国家标准GB/T 6435-2006、GB/T 6432-1994、GB/T 6433-2006、GB/T 6434-2006、GB/T6438-2007进行。总能的测定按照国际标准ISO 9831:1998方法进行，使用等温式全自动量热仪测定；氨基酸组成的测定参照中华人民共和国国家标准GB/T 18246-2000推荐的方法：样品在110 ℃下用6 mol/L盐酸水解24 h后，经过滤，使用氨基酸自动分析仪测定；玉米赤霉烯酮、T-2毒素、呕吐毒素、伏马毒素B_1、赭曲霉毒素酶联免疫吸附试验（ELISA）检测试剂盒购自于上海酶联生物科技有限公司。

1.3　猪对白酒糟酿酒酵母培养物中营养物质全消化道表观消化率的测定

动物试验于 2016 年 9 月（试验期为 12 d）在中国科学院亚热带农业生态研究所动物与作物实验楼代谢实验室进行。基础饲粮参照 NRC（2012）20～50 kg 生长猪营养需要配制，其组成及营养水平见表 1。试验饲粮为 30%白酒糟酿酒酵母培养物+70%的基础饲粮。选取体重相近的 12 头二元杂交去势公猪[体重为（20.0±2.0） kg]，随机分为 2 组，单栏饲养，自由饮水，保持室温在 25 ℃左右。适应期 4 d，饲喂基础饲粮，自由饮水。正式试验分为 4 d 的预试期和 4 d 的收粪期。收粪期依照预试期采食量的 90%喂料，每天 2 次，间隔 12 h，全天收集粪便。准确收集各试验猪 48 h 所排出的全部粪样，-20 ℃保存，试验结束后全部粪样充分混匀，取 50 g 粪样加入 10 mL 10%盐酸固氮，于 65 ℃烘箱中烘至恒重，粉碎过 60 目筛，

保存待测。

表1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	76.94
豆粕 Soybean meal	18.63
预混剂 Premix [1)]	3.0
石粉 Limestone	0.90
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.53
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
消化能 DE/(MJ/kg)	13.32
干物质 DM	93.21
粗脂肪 EE	4.62
粗纤维 CF	5.7
粗蛋白质 CP	18.34
粗灰分 Ash	5.67

[1)]预混料为每千克饲粮提供Premix provided the following per kg of the diet:VA 6 522 IU，VD_3 1 200 IU，VE 30 IU，VK 35.2 mg，VB_{12} 27.6 μg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，叶酸 folic acid 0.7 mg，VB_1 1.5 mg，VB_6 3 mg，Mn (MnO) 60 mg，Fe ($FeSO_4 \cdot H_2O$) 95 mg，Zn (ZnO) 65 mg，Cu ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 80 mg，I (KI) 0.3 mg，Se (Na_2SeO_3) 0.3 mg。表2同The same as Table 2。

[2)]营养水平为计算值。表2同。Nutrient levels were calculated values. The same as Table 2.

猪对白酒糟酿酒酵母培养物中营养物质全消化道表观消化率的计算公式如下：

$$D=(A-B)/F\times100+B$$

式中：D为被测试验原料中某营养物质的全消化道表观消化率（%）；A为试验饲粮中该营养物质的全消化道表观消化率（%）；B为基础饲粮中该营养物质的全消化道表观消化率（%）；F为被测试验原料中该营养物质占试验饲粮中该营养物质的比例（%）。

1.4　猪对白酒糟酿酒酵母培养物中氨基酸回肠末端表观消化率的测定

选用6头二元杂交去势公猪，以二氧化钛（0.2%）为指示剂，采用直接饲喂法测定猪对白酒糟酿酒酵母培养物中氨基酸的回肠末端表观消化率，试验饲粮组成及营养水平见表2。正式试验为7 d，第1～4天适应饲粮，第5～7天收集食糜。每头猪自由采食与饮水，每天08:30和16:30饲喂，每次饲喂量相同。在食糜收集期间，每天从第1次饲喂开始后连续收集10 h，收集到的食糜立即置-20 ℃保存。试验结束后，将食糜取出解冻，按每头猪的食糜混合均匀，经冷冻干燥并粉碎过60目，置于在-20 ℃保存待测

表2　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of the experimental diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
白酒糟酿酒酵母培养物 *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate	51.60
玉米淀粉 Corn starch	26.94
海泡石 Sepiolite	18.63
石粉 Limestone	0.98
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.74
预混料 Premix[1)]	0.50
氯化钙 $CaCl_2$	0.31
防霉剂 Fungicide	0.15
氯化胆碱 Choline chloride	0.10
抗氧化剂 Antioxidants	0.03
甜味剂 Sweetener	0.02
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
粗蛋白质 CP	18.38

钙 Ca	0.63
磷 P	0.51
赖氨酸 Lys	0.87
亮氨酸 Leu	0.69
苏氨酸 Thr	0.71
谷氨酸 Glu	0.74

猪对白酒糟酿酒酵母培养物中氨基酸回肠末端表观消化率的计算公式如下：

某氨基酸的回肠末端表观消化率(%)=[1-(食糜中该氨基酸含量×饲粮中指示剂含量)/(粪中指示剂含量×饲粮中该氨基酸含量)]×100。

1.5 统计分析

试验数据用SPSS 19.0统计软件的一般线性模型进行单因素方差分析，数据以平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 白酒糟酿酒酵母培养物的营养成分

白酒糟酿酒酵母培养物的总能为19.53 MJ/kg，粗蛋白质、粗灰分、粗纤维和粗脂肪分别为31.12%、13.46%、11.00%和5.00%，具体见表3。可以看出，白酒糟酿酒酵母培养物的总能和粗蛋白质含量较高。白酒糟酿酒酵母培养物是由高粱、稻谷、玉米等原料酿酒后的残渣，再经过菌种发酵后的产物，所以能使粗蛋白质含量进一步提升，接近豆粕的粗蛋白质含量。

由表4可知，酵母培养物的氨基酸组成丰富，其中赖氨酸、亮氨酸、丙氨酸、缬氨酸、脯氨酸、精氨酸和苯丙氨酸的含量分别为8.27%、17.88%、9.21%、10.72%、9.99%、6.48%和9.16%，氨基酸的含量和种类都非常丰富，有助于促进动物的生长和发育。

表 3 白酒糟酿酒酵母培养物的营养水平（风干基础）

Table 4 Nutrient levels of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate (air-dry basis) %

项目 Items	总能 GE/（MJ/kg）	水分 Moisture/%	粗蛋白质 CP/%	粗脂肪 EE/%	粗纤维 CF/%	粗灰分 Ash/%

含量 Content	19.53±0.05	8.34±0.05	31.12±0.15	5.00±0.36	11.00±0.75	13.46±0.15

表 4　白酒糟酿酒酵母培养物的氨基酸组成（风干基础）

Table 4　Amino acid composition of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate (air-dry basis)　%

项目 Items	含量 Content	项目 Items	含量 Content
精氨酸 Arg	6.48±0.18	天冬氨酸 Asp	4.67±0.30
组氨酸 His	5.52±0.04	谷氨酸 Glu	35.10±0.58
异亮氨酸 Ile	6.35±0.17	丝氨酸 Ser	4.85±0.05
亮氨酸 Leu	17.88±0.31	甘氨酸 Gly	6.73±0.11
赖氨酸 Lys	8.27±0.18	丙氨酸 Ala	9.21±0.25
甲硫氨酸 Met	1.81±0.16	酪氨酸 Tyr	4.67±0.17
苯丙氨酸 Phe	9.16±0.16	脯氨酸 Pro	9.99±0.16
苏氨酸 Thr	6.36±0.11	半胱氨酸 Cys	2.36±0.09
缬氨酸 Val	10.72±0.38		

2.2　白酒糟酿酒酵母培养物对猪的限制性氨基酸的确定

在畜禽生产中各种必需氨基酸之间及其与非必需氨基酸相互之间应保持平衡。为此，本试验计算了白酒糟酿酒酵母培养物中必需氨基酸之间的比例关系，并确立了其对猪的限制性氨基酸，结果见表 5。

从表 5 可以看出，以赖氨酸为基准（100），白酒糟酿酒酵母培养物的必需氨基酸中，以甲硫氨酸的比率最小，为 22，与猪的理想氨基酸比率中甲硫氨酸的比率（60）相差较大；除甲硫氨酸和赖氨酸外，其他氨基酸的比率均高于猪的理想氨基酸比率。这表明白酒糟酿酒酵母培养物的必需氨基酸中，第一限制性氨基酸为甲硫氨酸，第二限制性氨基酸为赖氨酸。

表 5　白酒糟酿酒酵母培养中氨基酸的比率与猪的理想氨基酸比率的比较（以赖氨酸为基准）

Table 5　A comparison of the ratio of ideal amino acids for pigs and the ratio of amino acids in *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate (on the basis of Lys)

氨基酸 AA	猪的理想氨基酸比率	白酒糟酿酒酵母培养物 The ratio of amino

	The ratio of ideal amino acids for pigs[11]	acids in *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate
赖氨酸 Lys	100	100
精氨酸 Arg	—	78
组氨酸 Hig	31	67
异亮氨酸 Ile	60	77
亮氨酸 Leu	111	216
甲硫氨酸 Met	60	22
苯丙氨酸 Phe	95	111
苏氨酸 Thr	60	77
缬氨酸 Val	68	130

2.3 白酒糟酿酒酵母培养物中霉菌毒素含量

由表6可知，白酒糟酿酒酵母培养物中玉米赤霉烯酮毒素含量为119.38 μg/kg，T-2毒素含量为15.52 μg/kg，呕吐毒素含量为542.13 μg/kg，伏马毒素含量为B_1 114.26 μg/kg，黄曲霉毒素含量为B_1 0.09 μg/kg，赭曲霉毒素含量为0.08 μg/kg，均远低于限量标准。白酒糟酿酒酵母培养物中黄曲霉毒素和赭曲霉毒素的含量很低，呕吐毒素含量相对于其他的毒素有点偏高，但还是远远低于限量标准。

表6 白酒糟酿酒酵母培养物的霉菌毒素含量

Table 6 Mycotoxin contents of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate

μg/kg

项目 Items	含量 Content	限量标准 Limited standard
玉米赤霉烯酮 ZEN	119.38±14.67	≤1 000（GB 13078.2-2006）
T-2 毒素 T2	15.52±1.60	≤100（美国 FDA）
呕吐毒素 DON	542.13±77.17	≤1 000（GB 13078.3-2007）
伏马毒素 B_1 FB_1	114.26±15.81	≤5 000（美国 FDA）
黄曲霉毒素 B_1 AFB_1	0.09±0.01	≤20（GB 13078-2001）
赭曲霉毒素 OTA	0.08±0.03	≤100（GB13078.2-2006）

2.4 猪对白酒糟酿酒酵母培养物中营养物质的全消化道表观消化率和消化能

由表7可知，猪对白酒糟酿酒酵母培养物中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、粗灰分和总能的全肠道表观消化率分别为48.79%、54.15%、82.94%、23.17%、20.29%和38.33%。由此可知，白酒糟酿酒酵母培养物中粗脂肪和粗蛋白质在猪消化道内的消化率较高，粗纤维和干物质的消化率较低。此外，白酒糟酿酒酵母培养物在猪中的消化能为11.75 MJ/kg。

表7　猪对白酒糟酿酒酵母培养物中营养物质的全消化道表观消化率和消化能

Table 7　Nutrient total tract apparent digestibility and DE of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller’s grains as substrate for pigs

项目 Items	平均值±标准差 Mean±SD
全消化道表观消化率 Total tract apparent digestibility/%	
总能 GE	38.33±8.50
粗蛋白质 CP	54.15±4.83
粗脂肪 EE	82.94±9.02
粗纤维 CF	23.17±7.57
干物质 DM	48.79±10.41
粗灰分 Ash	20.29±1.62
消化能 DE/（MJ/kg）	11.75±1.30

2.5　猪对白酒糟酿酒酵母培养物中氨基酸的回肠末端表观消化率

由表8可知，猪对白酒糟酿酒酵母培养物中必需氨基酸的回肠末端表观消化率普遍都很高，必需氨基酸中回肠末端表观消化率最低的是丝氨酸，也达到了55.10%。白酒糟酿酒酵母培养物中第一限制性氨基酸甲硫氨酸的回肠末端表观消化率达到了84.92%，苏氨酸的回肠末端表观消化率为71.36%，缬氨酸的回肠末端表观消化率为70.20%，组氨酸的回肠末端表观消化率为71.13%。猪对白酒糟酿酒酵母培养物中必需氨基酸的回肠末端表观消化率的平均值为72.38%，对非必需氨基酸的回肠末端表观消化率的平均值为69.37%，对总氨基酸的回肠末端表观消化率的平均值为70.88%。

表8　猪对白酒糟酿酒酵母培养物中氨基酸的回肠末端表观消化率

Table 8　Amino acid ileal apparent digestibility of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller’s

grains as substrate for pigs %

项目 Items	含量 Content	项目 Items	含量 Content
精氨酸 Arg	69.52±2.58	天冬氨酸 Asp	68.01±2.44
组氨酸 His	71.13±2.72	丝氨酸 Ser	55.10±2.00
异亮氨酸 Ile	71.31±2.16	甘氨酸 Gly	59.59±3.78
亮氨酸 Leu	69.36±2.37	谷氨酸 Glu	74.03±2.25
赖氨酸 Lys	87.46±2.41	丙氨酸 Ala	72.27±2.50
甲硫氨酸 Met	84.92±1.54	酪氨酸 Tyr	70.10±2.20
苯丙氨酸 Phe	68.71±2.52	脯氨酸 Pro	66.05±5.16
苏氨酸 Thr	71.36±1.71	半胱氨酸 Cys	74.22±1.55
缬氨酸 Val	70.20±2.21	非必需氨基酸平均值 NEAA average value	69.37
必需氨基酸平均值 EAA average value	72.38	总氨基酸平均值 TAA average value	70.88

3 讨 论

本次试验测出白酒糟酿酒酵母培养物的总能为19.53 MJ/kg，粗蛋白质含量为31.12%，粗纤维含量为11.00%，粗脂肪含量为5.00%。经过加工处理以后，白酒糟酿酒酵母培养物中总能和粗蛋白质含量相比于玉米干全酒糟及其可溶物（DDGS）的含量[12]有所升高，虽然白酒糟酿酒酵母培养物经过脱壳处理，但是还是有少量稻壳的残留，白酒糟酿酒酵母培养物粗纤维含量在11%。经过去壳工艺后，白酒糟酿酒酵母培养物的粗纤维含量有所降低[13]，适当的粗纤维含量能促进肠道蠕动、增强消化能力和提高饲料的适口性。并且，在降低粗纤维含量的同时也能提升其他营养成分的含量。如果饲料中的粗纤维含量过高会使动物体内营养物质的消化率降低；有研究发现，在母奶牛饲粮中添加50%的DDGS可以较好地保持生长性能，同时也能保持蛋白质在肠道的消化率和吸收率[14]；此外，DDGS中的膳食纤维可显著改变猪结肠微生物的特性[15-16]。白酒糟酿酒酵母培养物的氨基酸组成也非常丰富，其中赖氨酸含量为8.27%，亮氨酸含量为17.88%，丙氨酸含量为9.21%，缬氨酸含量为10.72%，脯氨酸含量为9.99%，苯丙氨酸含量为9.16%。白酒糟酿酒酵母培养物中赖氨酸的含量高于玉米DDGS[12]。

酒糟在发酵中需要保持菌种适宜生长繁殖的温度和湿度，所以白酒糟及其相关产品在发酵过程中也存在霉菌毒素污染的风险。主要的霉菌毒素包括玉米赤霉烯酮、呕吐毒素、T-2

毒素、黄曲霉毒素B_1、伏马毒素B_1、赭曲霉毒素，这6种霉菌毒素在玉米、大麦、高粱、小麦等白酒发酵原料中普遍存在并且污染越来越严重[17]。其中赭曲霉毒素、玉米赤霉烯酮、呕吐毒素耐热，即便在高温下也不分解，霉菌毒素不仅使饲料中的营养成分降低，而且动物再食用受污染的饲料后会引起胃肠道功能紊乱、腹泻、呕吐和营养不良等症状[18-20]，导致生长缓慢、急性或慢性中毒，甚至死亡[21-22]。DDGS已是国内外广泛应用的一种饲料原料，但是由于其水分含量很高，在生产过程中毒素的浓缩效应导致霉菌毒素的检出率很高，尤其是玉米赤霉烯酮和赭曲霉毒素。王金勇等[23]调查发现，在DDGS及其产品中呕吐毒素、玉米赤霉烯酮的含量严重超标。徐建[24]在9种酒糟均检测到黄曲霉毒素B_1。黄曲霉毒素B_1的毒性是氰化钾的10倍。霉菌毒素可破坏肠道上皮细胞屏障功能，诱导动物和人类肠道病变[19]。为保护动物和人体健康，实际生产中应注意控制霉菌毒素的产生，所以必须加强霉菌毒素的预防与控制。对易污染的饲料进行脱毒措施，减少霉菌毒素对动物的毒害作用[25]。本试验对6种在饲料中常见的霉菌毒素（玉米赤霉烯酮、呕吐毒素、T-2毒素、黄曲霉毒素B_1、伏马毒素B_1、赭曲霉毒素）在白酒糟酿酒酵母培养物中的含量进行了检测，这6种霉菌毒素的含量均远低于限量标准。

猪对白酒糟酿酒酵母培养物中粗蛋白质和粗脂肪的表观消化率比较高，粗脂肪的表观消化率达到82.94%。张益书等[26]在猪的饲粮中添加一定比例酒糟，测得其粗脂肪的表观消化率为58.6%，徐建[24]测得9种酒糟的粗脂肪在猪全消化道的表观消化率介于35%～72%，均低于白酒糟酿酒酵母培养物。对于猪，白酒糟酿酒酵母培养物的消化能为11.75 MJ/kg，Woodworth等[27]测得豆粕的消化能为15.30 MJ/kg，Pedersen等[28]测得玉米的消化能为16.21 MJ/kg，白酒糟酿酒酵母培养物的消化能低于豆粕[27]和玉米[28]，为豆粕的76%、玉米的72%。何英[29]用替代法算出的酒糟在生长猪中的消化能为4.95 MJ/kg，夏先林等[13]测得酒糟在猪中的消化能为8.60 MJ/kg，均低于白酒糟酿酒酵母培养物。猪对白酒糟酿酒酵母培养物中粗纤维的全消化道表观消化率只有23.17%，在反刍动物中饲喂DDGS后，营养物质的表观消化率和瘤胃的降解率提升[30]。近期研究发现，通过用DDGS替代部分膳食谷物来降低膳食淀粉含量增加了滤泡中的脂肪酸含量，可以降低血浆中胰岛素的浓度、滤泡液中胰岛素样生长因子-1（IGF-1）的浓度以及排卵的发生率[31]。单胃动物对纤维的分解、吸收效率比较低，使得其消化率也较低。不同地区的酒糟加工工艺的不同，其粗纤维含量也有差异，在饲粮中添加

酒糟后其粗纤维的含量直接影响机体对营养物质的吸收，进而对消化率产生影响[32]。

饲料氨基酸消化率是评定单胃动物饲料蛋白质营养价值最为重要的指标之一，本试验测得的猪对白酒糟酿酒酵母培养物中必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸的回肠末端表观消化率平均值分别为72.38%、69.37%、70.88%，相比于陈颖[33]测得的猪对白酒糟发酵粉的必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸的回肠末端表观消化率（分别为59.26%、44.77%和52.82%）有明显提升，但比豆粕(分别为79.85%、74.72%和77.57%)要低。此外，白酒糟酿酒酵母培养物中赖氨酸（87.46%）、丙氨酸（72.27%）、苏氨酸的回肠末端表观消化率（71.36%）比豆粕中赖氨酸（80.52%）、丙氨酸（67.84%）、苏氨酸的回肠末端表观消化率（70.45%）要高，而白酒糟酿酒酵母培养物中其他氨基酸的回肠末端表观消化率都比豆粕低。有研究发现，生长猪对赖氨酸的表观消化率随着DDGS添加量的增加而降低，但氨基酸的回肠末端表观消化率不受脂质含量的影响，而低脂质饮食中内源性脂质的损失使得粗脂肪的表观消化率降低[34]。有研究指出，猪回肠末端的微生物数量及组成会影响氨基酸的消化和吸收[35]；同时，粗纤维的含量也影响营养物质的消化[36]，较高的粗纤维含量增加肠道蠕动的速度，降低食糜的停留时间，使氨基酸的吸收率下降[37]。白酒糟酿酒酵母培养物作为一种新型的蛋白质原料，不同酒厂所使用的原料种类、填充剂、加工工艺，都有可能影响白酒糟酿酒酵母培养物的营养成分和营养物质的表观消化率[38]，在反刍动物中，饲粮中白酒糟添加量在30%以内时对山羊的生产性能和各营养物质表观消化率无不利影响[39]。在单胃动物饲粮添加30%DDGS时，使猪腹部脂肪减少，但做成肉质商品效果更好[15]。

4　结　论

① 白酒糟酿酒酵母培养物的总能为19.53 MJ/kg，粗蛋白质含量为31.12%，粗纤维含量为11.00%，粗脂肪含量为5.00%，水分含量为8.34%，粗灰分含量为13.46%，霉菌毒素含量远低于国家标准。

② 猪对白酒糟酿酒酵母培养物中粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、干物质和总能的全肠道表观消化率分别为54.15%、82.94%、23.17%、48.79%和38.33%，消化能为11.75 MJ/kg。

③ 猪对白酒糟酿酒酵母培养物中必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸的回肠末端表观消化率平均值分别为72.38%、69.37%和70.88%。

参考文献：

[1] KHOURY C K,BJORKMAN A D,DEMPEWOLF H,et al. ncreasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security[J].Proceedings of the National Academy of Sciences,2014,111(11):4001-4006.

[2] 王晓力.白酒糟生产高蛋白饲料研究进展及前景[J].中兽医医药杂志,2013,32(6):34-36.

[3] 王贵荣.酒糟利用情况调研报告[J].酿酒,1998,2(1):45-51.

[4] 左上春,杨海泉,邹伟,等.白酒酒糟资源化利用研究进展[J].食品工业,2016,1:246-249.

[5] 余群莲.白酒糟在节粮型肉牛业中的开发利用潜力[J].中国畜牧杂志,2010,46(4):58-61.

[6] 李梦云,陈代文.饲料中黄曲霉毒素的危害及几种脱毒剂的作用机理[J].饲料博览,2005(4):10-14.

[7] 熊本海,庞之洪,罗清尧.中国饲料成分及营养价值表[J].中国饲料,2010,21:34-39.

[8] GRAHAM H,ÅMAN P.Circadian variation in composition of duodenal and ileal digesta from pigs fitted with T-cannulas[J].Animal Production,1986,43(1):133-140.

[9] LUMPKINS B S,BATAL A B.The bioavailability of lysine and phosphorus in distillers dried grains with solubles[J].Poultry Science,2005,84(4):581-586.

[10] 马晓建.酒糟综合利用的发展前景[J].釀酒科技,2006,4:96-98.

[11] FIRMAN J D,BOLING S D.火鸡的理想蛋白质[J].国外畜牧兽医：饲料，1998(6):30-33.

[12] MANTHEY A K,ANDERSON J L,PERRY G A.Feeding distillers dried grains in replacement of forage in limit-fed dairy heifer rations:effects on growth performance,rumen fermentation,and total-tract digestibility of nutrients[J].Journal of Dairy Science,2016,99(9):7206-7215.

[13] 夏先林,韦永会.不同谷壳分离方法对酒糟营养价值的影响[J].中国畜牧杂志,2002,38(2):31-32.

[14] 陈光吉,彭忠利,宋善丹,等.发酵酒糟对舍饲牦牛生产性能、养分表观消化率、瘤胃发酵

和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2015, 27(9):2920–2927.

[15] MURILLO M,HERRERA E,RUIZ O,et al.Effect of supplemental corn dried distillers grains with solubles fed to beef steers grazing native rangeland during the forage dormant season[J].Journal of Animal Sciences,2016,29(5):666-671.

[16] BURROUGH E R,ARRUDA B L,PATIENCE J F,et al.Alterations in the colonic microbiota of pigs associated with feeding distillers dried grains with solubles[J].PloS One,2015,10(11):1337-1345.

[17] MARESCA M,YAHI N,YOUNES-SAKR L,et al.Both direct and indirect effects account for the pro-inflammatory activity of entero-pathogenic mycotoxins on the human intestinal epithelium: Stimulation of interleukin-8 secretion, potentiation of interleukin-1β effect and increase in the trans-epithelial passage of commensal bacteria[J].Toxicology and applied pharmacology,2008,228(1):84-92.

[18] 计成.霉菌毒素对家禽的危害及降解技术[J].中国家禽,2014,36(2):40-41.

[19] 高亚男.霉菌毒素影响肠道黏膜屏障功能[J].动物营养学报,2016,28(3):674-679.

[20] 史莹华.饲料中霉菌毒素的危害及其控制[J].河南农业大学学报:自然科学版, 2006,40(6):683-686.

[21] SMELA M E,CURRIER S S,BAILEY E A,et al.The chemistry and biology of aflatoxin B_1:from mutational spectrometry to carcinogenesis[J].Carcinogenesis,2001,22(4):535-545.

[22] 计成,赵丽红.黄曲霉毒素生物降解的研究及前景展望[J].动物营养学报,2010,22(2):241-245.

[23] 王金勇,刘颖莉.2012 年上半年中国饲料和原料霉菌毒素污染情况调查报告[J].饲料工业,2012,33(22):40-43.

[24] 徐建.白酒糟的营养价值评定[J].中国畜牧杂志,2012,48(7):47-50.

[25] SUBRAMANIAM E,COLAZO M G,GOBIKRUSHANTH M,et al.Effects of reducing dietary starch content by replacing barley grain with wheat dried distillers grains plus solubles in dairy cow rations on ovarian function[J]. Journal of dairy science, 2016, 99(4): 2762-2774.

[26] 张益书,李益良.郎酒糟营养成分和营养价值及作猪饲料的研究[J].商业科技,1992,5:14-18.

[27] WOODWORTH J C,TOKACH M D,GOODBAND R D,et al.Apparent ileal digestibility of amino acids and the digestible and metabolizable energy content of dry extruded-expelled soybean meal and its effects on growth performance of pigs[J].Journal of Animal Science,2001,79(5):1280-1287.

[28] PEDERSEN C,BOERSMA M G,STEIN H H.Energy and nutrient digestibility in NutriDense corn and other cereal grains fed to growing pigs[J].Journal of Animal Science,2007,85(10):2473-2483.

[29] 何英.糠麸糟渣、饼粕类饲料猪有效能预测模型的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学.2004:67-78.

[30] GUTIERREZ N A,SERAO N V L,PATIENCE J F.Effects of distillers' dried grains with solubles and soybean oil on dietary lipid,fiber,and amino acid digestibility in corn-based diets fed to growing pigs[J].Journal of Animal Science,2016,94(4):1508-1519.

[31] XIE H D,BU L J,ZHONG Z Z,et al.Effects of sorghum distillers dried grains with solubles on the carcass characteristics and muscle quality of China Micro Duck drakes aged from 4 to 8 weeks[J].Poultry Science,2016,95(11):2633-2639.

[32] SAUER W C,OZIMEK L.Digestibility of amino acids in swine:results and their practical applications.A review[J].Livestock Production Science,1986,15(4):367-388.

[33] 陈颖.白酒糟发酵粉对生长猪消化能、代谢能和氨基酸标准回肠消化率的评定[J].饲料工业,2013,9:47-52.

[34] OVERHOLT M F,LOWWL J E,WILSON K B,et al.Effects of feeding pelleted diets without or with distillers dried grains with solubles on fresh belly characteristics, fat quality, and commercial bacon slicing yields of finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2016,94(5):2198-2206.

[35] RAYMOND T L,CONNOR W E,LIN D S,et al.The interaction of dietary fibers and cholesterol upon the plasma lipids and lipoproteins,sterol balance,and bowel function in human subjects[J].Journal of Clinical Investigation,1977,60(6):1429.

[36] CHERBUTC,AUBE A C,MEKKI N,et al.Digestive and metabolic effects of potato and maize fibres in human subjects[J].British Journal of Nutrition,1997,77(1):33-46.

[37] 李铁军,印遇龙.日粮纤维对猪回肠微生物氮及微生物氨基酸流量的影响[J].畜牧兽医学报,2003,34(3):239-245.

[38] SUBRAMANIAM E,COLAZO M G,GOBIKRUSHANTH M,et al.Effects of reducing dietary starch content by replacing barley grain with wheat dried distillers grains plus solubles in dairy cow rations on ovarian function[J].Journal of dairy science,2016,99(4):2762-2774.

[39] 王丽.饲粮白酒糟添加水平对山羊生产性能、营养物质表观消化率及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2014,26(2):519-525.

Saccharomyces cerevisiae Culture Using Distiller's Grains as Substrate: Nutritional Component Analysis and Application Value Evaluation for Pigs' Feed[1]

*Corresponding authors: JIA Xinglin, associate professor, E-mail: 1376161391@qq.com; FENG Zemeng, assistant professor, E-mail: zemengfeng2006@163.com (责任编辑 菅景颖)

CHEN Qi[1,2,3] BAO Xianying[1,4] SU Yun[5] LI Bin[6] CAO Lihong[6] JIA Xinglin[2*] FENG Zemeng[1,7*] LI Tiejun[1,7] YIN Yulong[1,4,5]

(1. Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences; National Engineering Laboratory for Pollution Control and Waste Utilization in Livestock and Poultry Production, Hunan Provincial Engineering Research Center for Healthy Livestock and Poultry Production, Scientific Observing and Experimental Station of Animal Nutrition and Feed Science in South-Central, Ministry of Agriculture, Changsha 410125*, China*; 2. *College of Veterinary Medicine of Hunan Agricultural University, Changsha* 410128*, China;* 3. *Technical Center of Jiuding* (Group) Co., Ltd.*, Changsha* 410003*, China;* 4. *College of Animal Science and Technology of Hunan Agricultural University, Changsha* 410128*, China;* 5. *Animal Nutrition and Human Health Laboratory, College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha* 410081*, China;* 6. *Anhui Dongfang Xinxin Biological Technology Ltd., Co., Bozhou* 236800*, China;* 7. *Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety, Changsha* 410128*, China)*

Abstract: In order to evaluate the application value of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate for pigs' feed, the nutritional components including the contents of dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), ash, crude fiber (CF), amino acids (AA) and gross energy (GE) of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate were determined at firstly, and then, the total tract apparent digestability of nutrients through total feces collection method and apparent ileal digestability (AID) of AA through installed T-shape fistula were also determined. The results showed as follows: the GE of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate was 19.53 MJ/kg, and it consisted of 31.12% of CP, 11.00% of CF, 5.00% of EE, 8.34% of moisture and 13.46% of ash. Mycotoxin contents in *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate were far lower than those of the national standard. The digestible energy of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate for pigs was 11.75 MJ/kg, and the total tract apparent digestability of nutrients

was 38.33% for GE, 54.15% for CP, 82.94% for EE, 23.17% for CF and 48.79% for DM. The apparent ileal digestability average values of essential amino acids (EAA) and nonessential amino acid (NAA) of *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate for pigs were 72.38% and 69.37%, respectively, and the apparent ileal digestability of both lysine (Lys) and methionine (Met) was over 80%. It is proved that the absorption and utilization rates of amino acids in *Saccharomyces cerevisiae* culture using distiller's grains as substrate are relatively high, and it can be used in Pigs' Feed industry.

Key words: amino acids; distiller's grains; *Saccharomyces cerevisiae* culture; nutritional value evaluation; pigs